

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2002年12月12日

出願番号 Application Number: 特願2002-360053

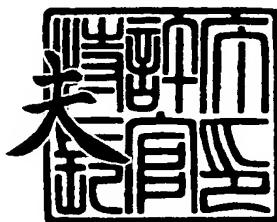
[ST. 10/C]: [JP2002-360053]

出願人 Applicant(s): 株式会社安川電機

2003年11月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康



【書類名】 特許願

【整理番号】 14302

【提出日】 平成14年12月12日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G05D 3/12

【発明者】

【住所又は居所】 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社
安川電機内

【氏名】 永田 英夫

【発明者】

【住所又は居所】 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社
安川電機内

【氏名】 安田 賢一

【発明者】

【住所又は居所】 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社
安川電機内

【氏名】 井上 康之

【特許出願人】

【識別番号】 000006622

【氏名又は名称】 株式会社安川電機

【代表者】 中山 真

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001-386915

【出願日】 平成13年12月20日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013930

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】明細書

【発明の名称】ロボットの制御装置および制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロボットの各軸を駆動するサーボモータを制御するために前記各軸毎に位置速度制御系を含むロボットの制御装置において、

前記サーボモータの関節座標系に関する関節角度を計測する角度計測器と、

関節指令をもとに前記サーボモータの運動に必要な運動トルク指令を演算する運動トルク演算部と、

前記位置速度制御系から演算された位置速度トルク指令と前記運動トルク指令とから外乱トルクを演算する外乱トルク推定部と、

前記関節角度をもとに前記ロボットの作業座標系と前記サーボモータの関節座標系との微小変位関係を演算する微小変位関係演算部と、

前記外乱トルクと前記微小変位関係を用いて作業座標系での外力に変換する外力演算部と、

前記外力をもとに前記ロボットの作業座標系での位置修正量を演算する力制御部と、

前記位置修正量と前記微小変位関係を用いて前記関節座標系での関節角度修正量に変換する関節角度修正量演算部とを備えたことを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項 2】

前記運動トルク演算部は、前記ロボットの関節部の重力トルクを演算する重力トルク演算部と、

前記サーボモータの加速度トルクを演算する加速度トルク演算部と、

前記サーボモータの速度を維持するための速度トルクとを演算する速度トルク演算部と、

前記重力トルクと前記加速度トルクと前記速度トルクとを加算して運動トルクを演算する運動トルク加算部とからなることを特徴とする請求項 1 記載のロボットの制御装置。

【請求項3】

前記運動トルク演算部は、前記位置速度制御系とは異なる第2の位置速度制御系と、

ロボット機構部を模擬した機械系模擬回路とからなることを特徴とする請求項1記載のロボットの制御装置。

【請求項4】

前記力制御部は、前記外力をもとに前記ロボットの作業座標系での位置修正量を演算するインピーダンス制御部と、

前記位置修正量を有効または無効とする修正量選択部とからなることを特徴とする請求項1乃至3記載のロボット制御装置。

【請求項5】

前記外力演算部は、前記外乱トルクと微小変位関係を用いて作業座標系の外力に変換する第1の外力演算部と、

前記外乱トルクと外力の作用点と各軸まで距離を用いて作業座標系の外力に変換する第2の外力演算部と、

前記第1の外力演算部と前記第2の外力演算部の各出力の平均値を求めるロボット軸外力平均演算部とを備えること特徴とする請求項1乃至4記載のロボットの制御装置。

【請求項6】

ロボット及びロボットと協同して作業する外部軸とを制御するため位置速度系を含むロボットの制御装置において、

前記ロボット軸の関節指令をもとに前記ロボット軸の運動に必要な運動トルク指令を演算するロボット軸運動トルク演算部と、

前記位置速度制御系から演算された位置速度トルク指令と前記ロボット軸運動トルク指令とから外乱トルクを演算するロボット軸外乱トルク推定部と、

前記ロボット軸外乱トルクを作業座標系での外力に変換するロボット軸外力演算部と、

前記外部軸の関節指令をもとに前記外部軸の運動に必要な運動トルク指令を演算する外部軸運動トルク演算部と、

前記位置速度制御系から演算された位置速度トルク指令と前記外部軸運動トルク指令とから外乱トルクを演算する外部軸外乱トルク推定部と、

前記外部軸外乱トルクを作業座標系での外力に変換する外部軸外力演算部とを備えることを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項 7】

前記ロボット軸外力演算部の出力であるロボット軸の外力と前記外部軸外力演算部の出力である外部軸の外力を差分して外力差演算値を求める外力差演算部とを備えることを特徴とする請求項 6 記載のロボットの制御装置。

【請求項 8】

前記外力演算部の出力である前記外力又は外力差演算値が予め設定されたしきい値よりも大きい場合には、前記ロボット各軸又は外部軸の少なくとも一つを停止させる停止処理部とを備えることを特徴とする請求項 1 乃至 7 記載のロボットの制御装置。

【請求項 9】

前記ロボットを操作する操作ペンダントを備え、
前記外力演算部の出力である前記外力を前記操作ペンダント上に表示することを特徴とする請求項 1 乃至 8 記載のロボットの制御装置。

【請求項 10】

ロボットの各軸を駆動するサーボモータを制御するために前記各軸毎に位置速度制御系を含むロボットの制御装置の制御方法において、

ロボット機構部と制御部をモデル化して算出したトルク指令と前記位置速度制御系から出力されたトルク指令との差から外乱トルクを推定し、

前記外乱トルクと作業座標系における変位から外力を推定し、

前記外力をもとにインピーダンス制御を行い位置修正量を演算し、

前記位置修正量を有効または無効とすることを特徴とするロボット制御方法。

【請求項 11】

ロボット及びロボットと協同して作業する外部軸とを制御するため位置速度系を含むロボットの制御装置の制御方法において、

ロボット及び外部軸をモデル化して算出したトルク指令と前記位置速度制御系

から出力されたトルク指令との差から外乱トルクを推定し、
前記外乱トルクと作業座標系における変位から外力を推定し、
前記外力をもとにインピーダンス制御を行い位置修正量を演算し、
前記位置修正量を有効または無効とすることを特徴とするロボット制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、ロボットの制御装置に関し、さらに詳しく言えば、特にロボットの作業座標系での力、トルク設定値をもとに関節を駆動するサーボモータの発生力を制御するロボットの制御装置および制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来のロボットはロボットの関節軸毎に位置速度制御系にて制御が行われていた。このような制御系でワークとの接触を伴うようなスポット溶接やシーム溶接のプレイバック再生を行う際、ワーク自体の位置ズレやロボットがワークを把持した位置のズレなどがあると、位置決め精度を高くするために大きく設定されたゲインや積分器の作用により、大きなトルクを発生することになる。この大きなトルクが発生することで、ワークを変形させたり溶接不良の発生や溶着などで作業の遂行が困難になって、時にはツールやロボットの破損の危険性があった。また、教示者がロボットを作業位置へ移動させる教示作業時には、教示者がスポットガンの制御点をワークの打点に慎重に移動させて、位置を登録する必要があり、誤ってガン電極をワークに押し付けて変形させる危険性があったため肉体的および精神的疲労度が非常に大きかった。

このような問題に対して、ロボットに特別な装置を付加することなく作業座標系で柔軟に力制御を行う方式としては、図10に示すように作業座標系の各座標軸方向に関して柔らかさ（バネ定数）を設定して空間内の軸別に外力に対する順応性の大小を指定できる方式がある（特許文献1、特許文献2）。

【0003】

また、外力の推定をして力制御を行う方式としては、関節座標系の各軸のモー

タへの外乱を外乱オブザーバにより推定し、ヤコビ行列を用いた座標変換により外乱推定値を作業座標系の外力推定値に変換できる方式がある（特許文献3、特許文献4）。

【0004】

【特許文献1】

特開平8-227320号公報

【特許文献2】

特開2000-005881号公報

【特許文献3】

特開平11-58285号公報

【特許文献4】

特開平9-103945号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、特許文献1や特許文献2に示すように、作業座標系で柔らかさ（バネ定数）を設定して空間内の方向別に外力に対する順応性の大小を指定する方式では、位置偏差が増大するとサーボモータの発生トルクが比例的に増大するため外力による位置偏差（移動距離）が大きな場合に対応できないという問題点がある。また、周辺機器やワークを取り除いて接触状態を解除しようとした場合にロボットは元の位置指令の場所に戻る力を発生させるため、再度周辺機器やワークと衝突を起して周辺機器やワークを破損させるなどの問題点を有している。

また、特許文献3や特許文献4に示すように、関節座標系の外乱を外乱オブザーバにより推定し、ヤコビ行列を用いた座標変換により外乱推定値を作業座標系の外力推定値に変換する方式が示されている。これらの従来例では、フィルタなどを使用することで検出時間にも遅れが発生し、また、摩擦や重力の影響が大きく正確な外力推定値を得ることが出来ないという問題点を有している。

そこで本発明は、センサなどを用いることなく、ストロークの大きな変位にも対応できる作業座標系の力制御を行うことを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明では、上記問題点を解決するため、請求項1記載のロボット制御装置は、ロボットの各軸を駆動するサーボモータを制御するために前記各軸毎に位置速度制御系を含むロボットの制御装置において、前記サーボモータの関節座標系に関する関節角度を計測する角度計測器と、関節指令をもとに前記サーボモータの運動に必要な運動トルク指令を演算する運動トルク演算部と、前記位置速度制御系から演算された位置速度トルク指令と前記運動トルク指令とから外乱トルクを演算する外乱トルク推定部と、前記関節角度をもとに前記ロボットの作業座標系と前記サーボモータの関節座標系との微小変位関係を演算する微小変位関係演算部と、前記外乱トルクと前記微小変位関係を用いて作業座標系での外力に変換する外力演算部と、前記外力をもとに前記ロボットの作業座標系での位置修正量を演算する力制御部と、前記位置修正量と前記微小変位関係を用いて前記関節座標系での関節角度修正量に変換する関節角度修正量演算部とを備えている。

【0007】

また、請求項2記載のロボット制御装置は、前記運動トルク演算部は、前記ロボットの関節部の重力トルクを演算する重力トルク演算部と、前記サーボモータの加速度トルクを演算する加速度トルク演算部と、前記サーボモータの速度を維持するための速度トルクとを演算する速度トルク演算部と、前記重力トルクと前記加速度トルクと前記速度トルクとを加算して運動トルクを演算する運動トルク加算部とからなる。

また、請求項3記載のロボット制御装置は、前記運動トルク演算部は、前記位置速度制御系とは異なる第2の位置速度制御系と、ロボット機構部を模擬した機械系模擬回路とからなる。

また、請求項4記載のロボット制御装置は、前記力制御部は、前記外力をもとに前記ロボットの作業座標系での位置修正量を演算するインピーダンス制御部と、前記位置修正量を有効または無効とする修正量選択部とからなる。

【0008】

また、請求項5記載のロボット制御装置は、前記外力演算部は、前記外乱トルクと微小変位関係を用いて作業座標系の外力に変換する第1の外力演算部と、前

記外乱トルクと外力の作用点と各軸まで距離を用いて作業座標系の外力に変換する第2の外力演算部と、前記第1の外力演算部と前記第2の外力演算部の各出力の平均値を求めるロボット軸外力平均演算部とを備えるものである。

【0009】

また、請求項6記載のロボット制御装置は、ロボット及びロボットと協同して作業する外部軸とを制御するため位置速度系を含むロボットの制御装置において、前記ロボット軸の関節指令をもとに前記ロボット軸の運動に必要な運動トルク指令を演算するロボット軸運動トルク演算部と、前記位置速度制御系から演算された位置速度トルク指令と前記ロボット軸運動トルク指令とから外乱トルクを演算するロボット軸外乱トルク推定部と、前記ロボット軸外乱トルクを作業座標系での外力に変換するロボット軸外力演算部と、前記外部軸の関節指令をもとに前記外部軸の運動に必要な運動トルク指令を演算する外部軸運動トルク演算部と、前記位置速度制御系から演算された位置速度トルク指令と前記外部軸運動トルク指令とから外乱トルクを演算する外部軸外乱トルク推定部と、前記外部軸外乱トルクを作業座標系での外力に変換する外部軸外力演算部とを備えるものである。

【0010】

また、請求項7記載のロボット制御装置は、前記ロボット軸外力演算部の出力であるロボット軸の外力と前記外部軸外力演算部の出力である外部軸の外力とを差分して外力差演算値を求める外力差演算部とを備えるものである。

また、請求項8記載のロボット制御装置は、前記外力演算部の出力である前記外力又は外力差演算値が予め設定されたしきい値よりも大きい場合には、前記ロボット各軸又は外部軸の少なくとも一つを停止させる停止処理部とを備えるものである。

また、請求項9記載のロボット制御装置は、前記ロボットを操作する操作ペンダントを備え、前記外力演算部の出力である前記外力を前記操作ペンダント上に表示することを特徴とするものである。

【0011】

また、請求項10記載のロボット制御方法は、ロボットの各軸を駆動するサー

ボモータを制御するために前記各軸毎に位置速度制御系を含むロボットの制御装置の制御方法において、ロボット機構部と制御部をモデル化して算出したトルク指令と前記位置速度制御系から出力されたトルク指令との差から外乱トルクを推定し、前記外乱トルクと作業座標系における変位から外力を推定し、前記外力をもとにインピーダンス制御を行い位置修正量を演算し、前記位置修正量を有効または無効とすることを特徴とするものである。

また、請求項11記載のロボット制御装置は、ロボット及びロボットと協同して作業する外部軸とを制御するため位置速度系を含むロボットの制御装置の制御方法において、ロボット及び外部軸をモデル化して算出したトルク指令と前記位置速度制御系から出力されたトルク指令との差から外乱トルクを推定し、前記外乱トルクと作業座標系における変位から外力を推定し、前記外力をもとにインピーダンス制御を行い位置修正量を演算し、前記位置修正量を有効または無効とすることを特徴とするものである。

【0012】

【発明の実施の形態】

本発明の第1の実施例を図1に示して説明する。図1の11は位置速度制御ループであり、関節指令を入力してトルク指令をアンプ12へ出力することで、関節モータを駆動する。ここではよく用いられる位置比例-速度比例積分制御を用いる。この位置比例-速度比例積分制御（以後、位置速度制御とする）では、高ゲインの位置制御ループおよび速度制御ループの作用により、外部より作用する力に對して各関節軸が柔軟に変位しづらい。そこで、上位コントローラからの位置速度制御ループ11への関節指令から、運動トルク演算部15によりロボットの各リンクが動作するために必要な重力を補償するためのトルク（以下、重力トルク）と加速するためのトルク（以下、加速度トルク）と速度分のトルク（速度トルク）からなる運動トルクを演算する。求められた運動トルクから実際の位置速度制御ループ11の出力であるトルク指令を外乱トルク推定部16で減算する事により、関節座標系での外乱トルク推定値を演算することができる。

次に、角度計測器14で検出された関節角度から、微小変位関係演算部17において関節座標系と作業座標系間の微小変位関係、一般的にヤコビ行列と言われてい

る行列を演算する。そこで、外力演算部18において、前記外乱トルク推定値に前記座標系間の微小変位関係を乗算することで、作業座標系における外乱力推定値に変換することができる。外力とは、外部からの加わる力とモーメントである。

更に、力制御部19において、インピーダンス制御など力制御アルゴリズムにより前記外乱力推定値を作業座標系での位置修正量に変換し、関節角度修正量演算部20により前記位置修正量を関節座標系での関節角度修正量に変換する。

よって、変換された関節角度修正量を位置速度制御ループ11への入力である関節指令に加算する事で、ロボットが外力に応じた位置の修正を行うことが可能になる。

【0013】

以下に、本発明の第1の具体的実施例を図2に示して、関節座標系での位置速度制御に本発明の制御を適用した制御ブロック線図を説明する。

(1) 運動トルク演算方法

上位コントローラから位置速度制御ループ11への入力である関節指令を運動トルク演算部15に入力する。トルク演算部21内で、1回微分を取って関節角速度指令を求め、2回微分を取って関節角加速度指令を求め、前記関節角速度指令と前記関節角加速度指令からロボットの各リンクが動作するために必要な運動トルクを求める。ここで、運動トルクとは、各リンクの重量分に打ち勝って姿勢を維持するための重力トルクと、リンクの慣性分に打ち勝つために必要な加速度トルクと、減速器の摩擦分に打ち勝つために必要な速度トルクである。重力トルクは各リンクの重心位置と重量と関節指令から求め、加速度トルクは関節角加速度にロボットの姿勢に応じてイナーシャを乗算することで求め、速度トルクは関節角速度に粘性摩擦係数を乗算し、クーロン摩擦値を加算する事で求めることができる。よって、運動トルク加算部22において、重力トルクと加速度トルクと速度トルクを加算することで、運動トルクを求めることが可能である。

【0014】

(2) 外乱トルク推定方法

位置速度制御ループ11からの出力であるトルク指令は外乱がない場合は前記運動トルクとほぼ同一であるが、何らかの要因で外乱が入力された場合にはその分

だけ運動トルクよりも増減することになる。よって、外乱トルク推定部16により、前記運動トルクから位置速度制御ループ11のトルク指令を減算する事で、関節座標系での外乱トルク推定値 τ presumptionを求めることができる。

【0015】

(3) 外乱力推定値演算方法

角度計測器14で検出された関節角度から、微小変位関係演算部17において関節座標系と作業座標系間の微小変位関係、一般的にヤコビ行列と言われている行列を演算し、その転置逆行列を用いることで、関節座標系の外乱トルク推定値から作業座標系における外力推定値を演算することが可能である。

例えば、6自由度のロボットの場合は、ヤコビ行列は以下の式により演算することが可能である。

【0016】

【数1】

$$J = \begin{pmatrix} {}^0s_1 \times ({}^0P_r - {}^0P_1) & {}^0s_2 \times ({}^0P_r - {}^0P_2) & {}^0s_3 \times ({}^0P_r - {}^0P_3) & {}^0s_4 \times ({}^0P_r - {}^0P_4) & {}^0s_5 \times ({}^0P_r - {}^0P_5) & {}^0s_6 \times ({}^0P_r - {}^0P_6) \\ {}^0s_1 & {}^0s_2 & {}^0s_3 & {}^0s_4 & {}^0s_5 & {}^0s_6 \end{pmatrix} \dots ①$$

【0017】

ここで、

J ：ヤコビ行列（関節座標系と作業座標系間の微小変位関係式）

0s_i ：第 i 関節座標の回転方向ベクトル（ロボットのベース座標系を基準）

0P_i ：第 i 関節位置ベクトル（ロボットのベース座標系を基準）

\times ：ベクトルの外積を示す

r ：ロボットの作業位置ベクトル

よって、外力演算部18において、作業座標系での外乱力推定値 F presumption は以下の式で求めることができる。

【0018】

【数2】

$$F \text{ presumption} = (J^T)^{-1} * \tau \text{ presumption} \dots ②$$

【0019】

ここで、

T : 転置行列を示す

-1 : 逆行列を示す

【0020】

(4) 角度修正量演算方法

力制御部19において、前記外力推定値 $F_{\text{presumption}}$ を作業座標系のインピーダンス制御部26により、作業座標系の位置修正量 X_{comp} に変換することができる。

【0021】

【数3】

$$M \cdot \ddot{X} + D \cdot \dot{X} + K \cdot X = F_{\text{presumption}} \quad \dots \textcircled{3}$$

\ddot{X} 、 \dot{X} 、 X : 作業座標系での加速度、速度、位置

M 、 D 、 K : インピーダンスの慣性、粘性、剛性

【0022】

式③において、速度と加速度に関して以下の式を代入すると、

【0023】

【数4】

$$\ddot{X} = (\dot{X} - \dot{X}_{\text{old}}) / \Delta T, \quad \dot{X} = (X - X_{\text{old}}) / \Delta T \quad \dots \textcircled{4}$$

ここで、

\dot{X}_{old} : 作業座標系での1サンプリング前の速度

X_{old} : 作業座標系での1サンプリング前の位置

ΔT : サンプリング時間

【0024】

一般的には、式④を式③に代入して式を解けば良いが、簡略化のため、この中からインピーダンス制御の粘性成分のみを用いる式を採用しても良い。この時、作業座標系の位置修正量 X_{comp} は、以下の式で求めることができる。

【0025】

【数5】

$$X_{comp} = F_{presumption} / D \quad \cdots ⑤$$

【0026】

この位置修正量 X_{comp} は修正量選択部27により、作業内容に応じて修正量を有効または無効にする作業座標系の軸を選択することができる。

【0027】

次に、関節角度修正量演算部20による前記作業座標系の位置修正量 X_{comp} を関節座標系の関節角度修正量 θ_{comp} に変換は、以下の式で行うことができる。

【0028】

【数6】

$$\theta_{comp} = J^{-1} * X_{comp} \quad \cdots ⑥$$

【0029】

となる。⑥で求められた前記関節角度修正量 θ_{comp} を上位コントローラからの関節指令に加算する事で、外乱の大きさや方向に対してロボットの位置を逐次修正して外乱を吸収することが可能になる。例えば、スポット溶接作業でガンのチップがワークに接触した場合を例に説明する。予め教示された位置よりも早い段階で固定側のチップがワークと接触した場合には、通常の位置速度制御であれば位置速度ループの高ゲインによりロボットに過大な力を発生させ、ガンやワークを破損させる危険性があった。本制御を用いるとチップに作用する力を外乱演算部により作業座標系での外乱力として検出して、その方向に力制御を行い、関節角度修正量を求めることで、ロボットが過大な力を発生させないようにできる。

【0030】

以下に、本発明の第2の具体的実施例を図3に示して、関節座標系での位置速度制御に本発明の制御を適用した制御ブロック線図を説明する。ここでは、前記第1の具体的実施例において、(1)の運動トルク演算方法の処理に差異がある。

(1') 運動トルク演算方法

上位コントローラから位置速度制御ループ11への入力である関節指令を運動トルク演算部15に入力する。運動トルク演算部15内では、前記位置速度制御系11とは別の第2の位置速度制御系115に前記関節指令が入力され、実際のロボット機構部を模擬した機械系模擬回路118の位置速度制御を行う。第2の位置速度制御系115の位置ループゲイン K_p 116は、位置速度制御ループ11の位置ループゲイン K_p 111と同一のパラメータ値である。また同様に、第2の位置速度制御系115の速度ループゲイン K_v 117は、位置速度制御ループ11の速度ループゲイン K_p 112と同一のパラメータ値である。ここで、機械系模擬回路118は、関節モータ13と同一のイナーシャと粘性係数と剛性を持った仮想的な制御系で構成されており、例えばモータイナーシャと2次側イナーシャと減速器から構成される2慣性系モデルである。この2慣性系モデルが実際のロボットと同一であれば、外乱がない場合には実際のロボットと仮想ロボットの挙動は同じになり、前記第1の位置速度制御系11の出力であるトルク指令と前記第2の位置速度制御系115の出力であるトルク指令は同一と考えられる。

よって、前記第2の位置速度制御系115の出力であるトルク指令を運動トルクとして使用する。その後の処理は、前記第1の具体的実施例における(2)～(4)と同一の処理を行えば良い。

【0031】

次に、本発明の第1の実施例で説明した制御の作用をスポット溶接の位置教示作業を例にして、図4を用いて説明する。

スポット溶接の位置教示作業は、作業者が操作ペンダントなどを使用して手先にスポット溶接ガン41を配置したロボットを誘導することで、ワーク43上の決められた打点位置に対して、スポット溶接ガン41の固定側電極44と、スポット溶接ガン41の他端に配置した可動側電極駆動用モータ42によって駆動される可動側電極45を位置決めして位置を登録するものである。通常の位置速度制御を用いた場合では、作業者は以下の手順で教示作業を行っていた。

(a) 待機位置へ移動

スポット溶接ガン41上の固定側電極44と可動側電極45の間が十分に広い待機状

態で、固定側電極44と可動側電極45を結んだ線上にワーク43の打点位置が入るようロボットを誘導する。

（b）固定側電極の移動

作業者は、固定側電極44がワーク43の打点位置に下方から接触する寸前までロボットを非常に低速で動作させなければならない。

（c）可動側電極の移動

固定側電極44の移動完了後に、可動側電極駆動用モータ42を駆動して可動側電極45がワーク43の打点位置に上方から接触する寸前までロボットを非常に低速で動作させなければならない。

ここで、（b）や（c）の作業時に電極とワークが接触した場合には、位置速度制御によりロボットが過大な力を発生することでワーク43や固定側電極44、ロボットの破損の危険性もあるため、作業者の肉体的精神的疲労度が非常に大きく、教示時間も大幅に必要としていた。

【0032】

次に、本作業における本発明の力制御の働きを、詳細に説明する。

（a）待機位置へ移動

スポット溶接ガン41上の固定側電極44と可動側電極45の間が十分に広い待機状態で、固定側電極44と可動側電極45を結んだ線上にワーク43の打点位置が入るようロボットを誘導する。この誘導時には通常の位置速度制御のままである。

（b）固定側電極の移動

作業者は、ロボットの動作モードを本力制御に切り替え、例えばスポット溶接ガン41の固定側電極44と可動側電極45を結んだ線を作業座標系のZ軸に取った場合には、前記力制御部19の修正量選択部27により、Z軸方向の位置修正量の有効を選択し、その他のX Y軸に関しては位置修正量の無効を選択する。次に、固定側電極44がワーク43の打点位置に下方から接触するまでロボットを動作させる。固定側電極44がワーク43に接触した場合には、運動トルク演算部15の運動トルクと位置速度制御ループ11の出力であるトルク指令に外乱トルク推定値として差が発生し、この外乱トルク推定値を外力演算部18と力制御部19と関節角度修正量演算部20により角度修正量として演算し、関節指令に加算することで、固定側電極

44は過大な力をワーク43に加えることがなく接触した状態を維持できる。

(c) 可動側電極の移動

固定側電極44の移動完了後に、可動側電極駆動用モータ42を駆動して可動側電極45がワーク43の打点位置に上方から接触するまでロボットを動作させる。ここで、可動側電極駆動用モータ42の駆動の制御にも本力制御を行うことで、可動側電極45が過大な力をワーク43に加えることがなく接触した状態を維持できる。

【0033】

以下に、本発明の第3の具体的実施例を図5に示して、関節座標系での位置速度制御に本発明の制御を適用した制御ブロック線図を説明する。ここでは、前記第1の具体的実施例において、外力演算方法の処理に差異がある。また、ロボットは図8に示すスポット溶接用ロボットを例に説明を行う。

前記第1の具体的実施例においては、外力の推定は手先に作用する力 (F_x , F_y , F_z) とモーメント (M_x , M_y , M_z) の6軸であった。しかし、スポット溶接においてワークの位置ズレなどに対してスポット溶接ガンの電極が自動的に位置修正をして位置ズレに倣う場合には、電極の開閉方向の接触力 (F_z) のみを推定すれば良いため、電極開閉方向の力のみを推定して処理を簡略化する。

電極開閉方向の外力の推定方法としては、ロボットのJ1～J3軸で1つの外力の推定値 F_1 を求め、J4, J5, J6でそれぞれ外力の推定値 F_2 , F_3 , F_4 を求める。そして、前記4個の外力推定値の平均を取ることで、誤検出低減や検出精度の向上を図ることが特徴である。

(1) 運動トルク演算方法～(2) 外乱トルク推定方法までの処理は、前記第1の具体的実施例における(1)～(2)と同一の処理を行えば良い。

(3") 外乱力推定値演算方法

外力推定値 F_1 の演算方法は、前記第1の具体的実施例における外力演算方法と同様に第1の外力演算部181で、微小変位関係演算部17において求めた座標系間の微小変位関係の転置逆行列24を用いることで、外乱トルク推定部16の出力である外乱トルク推定値 $\tau_{\text{presumption} 1 \sim 3}$ を作業座標系における外力推定値 F_1 を求める。ここで、電極の開閉方向の接触力推定であるため、ロボットのJ1

～J 3軸からロボットの手首部分へのヤコビ行列を求めるだけで良く、以下の式により演算することが可能である。

【0034】

【数7】

$$J = \begin{pmatrix} {}^0s_1 \times ({}^0P_r - {}^0P_1) & {}^0s_2 \times ({}^0P_r - {}^0P_2) & {}^0s_3 \times ({}^0P_r - {}^0P_3) \\ {}^0s_1 & {}^0s_2 & {}^0s_3 \end{pmatrix} \cdots ⑦$$

【0035】

次に、外力推定値F 2, F 3, F 4の演算方法の説明を行う。スポット溶接ではガンの両電極を閉じることでワークを挟み込んで溶接を行うが、ロボット側の固定電極がワークに接触し、外力Fがガンの電極開閉方向に作用した場合の外力推定値F 3を例に、図9を用いて説明する。

J 5軸に作用するトルク τ presumption 5は、図9 (b) に示すように外力FとJ 6軸の角度に依存しているため、以下の式で表すことができる。

【0036】

【数8】

$$\tau \text{ presumption 5} = F \cdot L \cdot \cos(\theta_6) \cdots ⑧$$

ここで、

F : 外力

L : 電極の外力作用点J 5軸までの距離

θ_6 : J 6軸の角度

【0037】

よって、ガンの電極開閉方向に作用する外力推定値F 3 ($\equiv F$) は以下の式で表すことができる。

【0038】

【数9】

$$F = \tau \text{ presumption 5} / (L \cdot \cos(\theta_6)) \cdots ⑨$$

【0039】

よって、第2の外力演算部182において、外力推定値F3を求めることができた。同様に、F2、F4についても演算を行う。次に、外力平均演算部28において、前記外力推定値F1～F4の平均を取ることで、外力平均値を求めることができる。

(4) 角度修正量演算方法の処理も、前記第1の具体的実施例における(4)と同一の処理を、前記外力平均値を用いて行えば良い。

【0040】

ただし、ここでは図示しないが、ガンの電極開閉方向に作用する外力は前記第1の具体的実施例と同様に、J4～J6軸に作用するトルクとガンに設定した座標系からJ4～J6軸までのヤコビ行列とで演算することも可能である。つまり、J1～J3軸とJ4～J6軸とでガンの開閉方向に作用する外力(Fx, Fy, Fz)をそれぞれ推定することもできる。前記第3の具体的実施例の場合には、この演算式を展開した一部を使用している。このようにJ4～J6軸までのヤコビ行列を使用することで、手先に作用する力(Fx, Fy, Fz)が求められ、外力の作用する方向が1軸以上の場合にも適用することが可能となる。J4～J6軸までのヤコビ行列は、以下の演算を行う。

【0041】

【数10】

$$J = \begin{pmatrix} {}^0s_4 \times ({}^0P_r - {}^0P_4) & {}^0s_5 \times ({}^0P_r - {}^0P_5) & {}^0s_6 \times ({}^0P_r - {}^0P_6) \\ {}^0s_4 & {}^0s_5 & {}^0s_6 \end{pmatrix} \dots \textcircled{10}$$

【0042】

後は、前記第1の具体的実施例と同様に、式②を演算することで、外力推定値F presumption 4～6を求めることができる。

【0043】

以下に、本発明の第4の具体的実施例を図6に示して、関節座標系での位置速度制御に本発明の制御を適用した制御ブロック線図を説明する。ここでは、前記第3の具体的実施例において、力制御部と関節角度修正量演算部の部分に差異がある。前記第1～3の具体的実施例では、外力に応じて角度修正量を演算するこ

とで、ロボットが外力に対して追従する制御方法について述べたが、ここでは外力を検出することで、ロボットの動作を停止させることを目的とする。また、ロボットは図8に示すスポット溶接用ロボットの教示作業を例に説明を行う。

作業者は、ロボットを誘導することで、ロボットの先端に配置されたスポット溶接用ガンの電極間にワークを挟み込む姿勢を作る。このときには、両電極とワークには十分な距離がある。次に、作業者はガンの電極の固定側（つまりロボット）を上昇させる（ワークに近づく方向に移動させる）。ここから、前記第3の具体的実施例における（1）～（3”）と同一の処理を行い、外力平均部28において外力平均値を求める。

（4'）停止処理方法

停止処理部29において、求められた前記外力平均値と予め設定された検出しきい値を比較することで、ガンの固定電極がワークに接触した際に、ロボットの動作を停止させる。ロボットが自動的に停止することでスポット溶接の教示作業が自動的に行え、作業者の肉体的精神的負担を軽減することができる。

また、図示しないが、外部の周辺機器からロボットが力を加えられる場合には、ロボットを停止させる代わりに外部の周辺機器に停止信号を出力しても良い。

【0044】

以下に、本発明の第5の具体的実施例を図7に示して、関節座標系での位置速度制御に本発明の制御を適用した制御ブロック線図を説明する。ここでは、前記第4の具体的実施例において、ロボット軸以外に外部軸を用いた部分に差異がある。前記第4の具体的実施例では、ロボットの各軸によりエンドエフェクタの制御点に作用する外力を推定したが、ここでは外部軸に作用する外力推定値と前記ロボットの外力推定値との差を求め、実際にワークに作用している力が釣り合っているかどうかを作業者に提示したり、前記第1の具体的実施例と同様に位置の修正量を求めたりする。また、ロボットは、前記第4の具体的実施例と同様に、図8に示すスポット溶接用ロボットの教示作業を例に説明を行う。

作業者は、ロボットを誘導することで、ロボットの先端に配置されたスポット溶接用ガンの電極間にワークを挟み込む姿勢を作る。このときには、両電極とワークには十分な距離がある。次に、作業者はガンの電極の固定側（つまりロボッ

ト) を上昇させる(ワークに近づく方向に移動させる)。ここから、前記第3又は4の具体的実施例における(1)～(3")と同一の処理を行い、外力平均部28において外力平均値を求める。

(4") 外部軸の外乱力推定値演算方法

外部軸を駆動するモータの制御系に対しても、(1)～(3)のロボットの各軸と同様に外乱トルク推定値 $\tau_{\text{presumption-ex 1}}$ を求める。ここで、ガン駆動部分の重力と摩擦成分はロボット同様に運動トルク演算部15において、別途補償しておく。

次に、第3の外力演算部183において、前記外乱トルク推定値 $\tau_{\text{presumption-e x 1}}$ から、外乱力推定値F5を演算する。ここで例えば、ガンの可動電極の駆動がリードnのボールネジの場合、以下の式で外乱力推定値F5を求めることができる。

【0045】

【数11】

$$F_5 = \tau_{\text{presumption-e x 1}} \cdot 2\pi / n \quad \cdots ⑪$$

【0046】

(5) 外力提示方法

外力差演算部30において、前記外力推定値F5と前記外力平均値との差を求め、ロボットコントローラに接続された操作ペンダント31上に表示する。

または、図示しないが、操作ペンダントに表示する代わりに、停止処理部29において、求められた前記外力平均値と予め設定された検出しきい値を比較することで、ガンの固定電極がワークに接触した際に、ロボットの動作を停止でき、ガンの可動電極がワークに接触した際にもガンの動作を停止させることができる。また、両電極がワークに対して作用している力を同じになるように力制御を行うことでワークに無理な変形を生じさせず、品質を向上させることができる。よって、ロボットやガンが自動的に停止することでスポット溶接の教示作業が自動的に行え、作業者の肉体的精神的負担を軽減することができる。

【0047】

【発明の効果】

以上述べたように、請求項1のロボットの制御装置によれば、ロボットにより接触作業を行わせる際に、センサなどを用いることなく、ストロークの大きな変位にも対応できる作業座標系の柔軟な倣い動作が可能となる。

請求項2記載のロボットの制御装置によれば、ロボットの動作に必要な運動トルクを演算することにより、より正確な外乱トルクを求めることが可能である。

請求項3記載のロボットの制御装置によれば、実際のロボットと同一のパラメータを持つモデルを用いた位置速度制御系からのトルク指令を運動トルクとして使用することにより、より正確な外乱トルクを求めることが可能である。

請求項4記載のロボットの制御装置によれば、修正量の有効または無効を選択できるため、作業に応じてロボットに柔軟な軸方向と剛性の高い軸方向を選択することが可能になる。

請求項5記載のロボット制御装置によれば、外力の推定を複数個の平均から求めることで、検出精度を上げ、誤検出を減らすことができる。

請求項6記載のロボット制御装置によれば、ロボットと外部軸が作業対象に対して加えている外力を検出することができるため、製品の品質を上げることができる。

請求項7記載のロボット制御装置によれば、ロボットと外部軸が作業対象に対して加えている合成した外力を検出することができるため、製品の品質を上げることができる。

請求項8記載のロボット制御装置によれば、推定した外力と予め設定されたしきい値を比較することで、ロボットが作業対象と接触した場合に自動的にロボットを停止させることができ、作業者の負担を減らすことができる。

請求項9記載のロボット制御装置によれば、前記外力、前記外力平均値又は前記外力差演算値を操作ペンドント上に表示することで、作業者が接触状態を判断することができ、ワークやロボットの破損を回避することができる。

請求項10記載のロボットの制御方法によれば、修正量の有効または無効を選択できるため、作業に応じてロボットに柔軟な軸方向と剛性の高い軸方向を選択することが可能になる。

請求項11記載のロボットの制御方法によれば、ロボット軸と外部軸の修正量を有効または無効を選択できるため、作業に応じてロボットに柔軟な軸方向と剛性の高い軸方向を選択することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の基本構成図

【図2】本発明の第1の具体的実施例を表す図

【図3】本発明の第2の具体的実施例を表す図

【図4】本発明の作用を示す図

【図5】本発明の第3の具体的実施例を表す図

【図6】本発明の第4の具体的実施例を表す図

【図7】本発明の第5の具体的実施例を表す図

【図8】本発明のロボットを表す図

【図9】本発明の力の作用を示す図

【図10】従来の制御方式を示す図

【符号の説明】

1 1：位置速度制御ループ

1 2：アンプ

1 3：関節モータ

1 4：角度計測器

1 5：運動トルク演算部

1 6：外乱トルク推定部

1 7：微小変位関係演算部

1 8：外力演算部

1 8 1：第1の外力演算部

1 8 2：第2の外力演算部

1 8 3：第3の外力演算部

1 9：力制御部

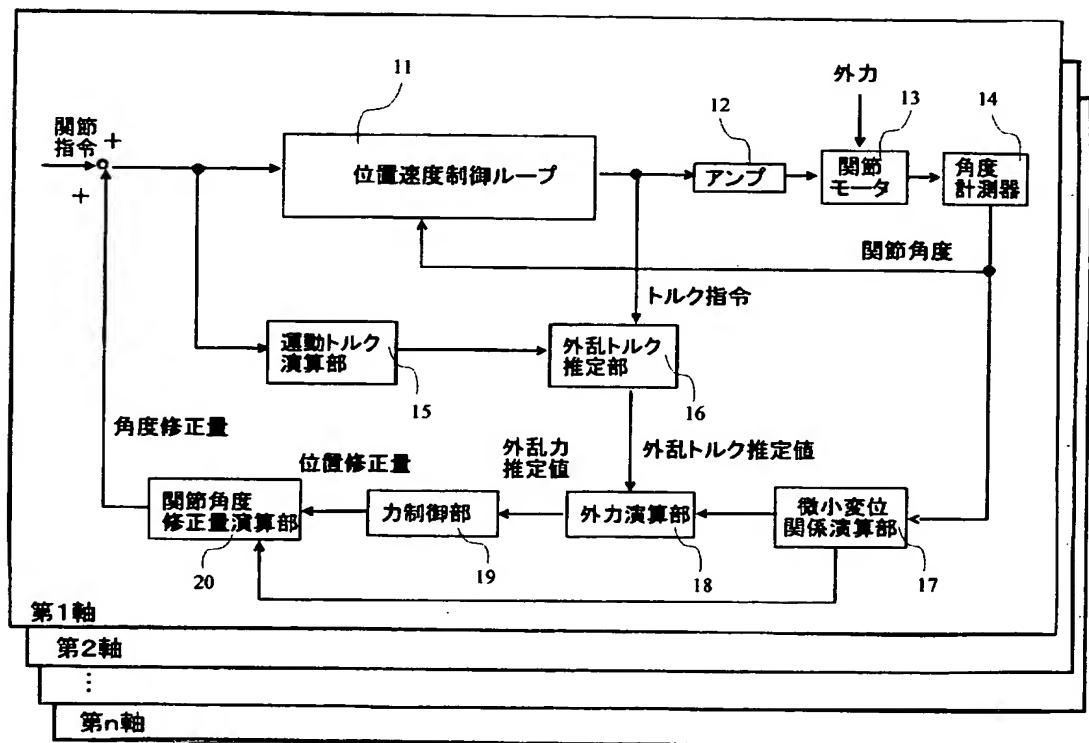
2 0：関節角度修正量演算部

2 1：トルク演算部

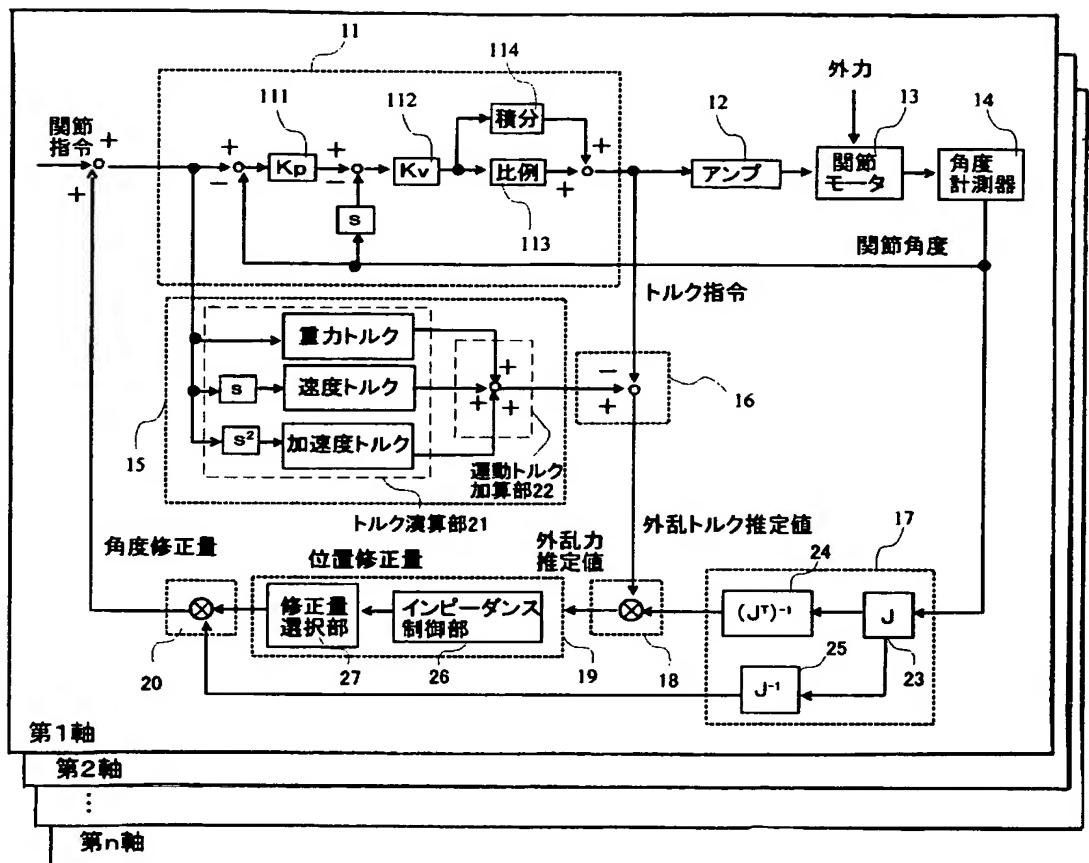
2 2 : 運動トルク加算部
2 3 : ヤコビ行列
2 4 : ヤコビ転置行列の逆行列
2 5 : ヤコビ行列の逆行列
2 6 : インピーダンス制御部
2 7 : 修正量選択部
2 8 : 外力平均演算部
2 9 : 停止処理部
3 0 : 外力差演算部
3 1 : 操作ペンドント
4 1 : スポット溶接ガン
4 2 : 可動側電極駆動用モ
4 3 : ワーク
4 4 : 固定側電極
4 5 : 可動側電極
1 1 1 : 位置ループゲイン
1 1 2 : 速度ループゲイン
1 1 3 : 比例器
1 1 4 : 積分器
1 1 5 : 第2の位置速度制御系
1 1 6 : 位置ループゲイン
1 1 7 : 速度ループゲイン
1 1 8 : 機械系模擬回路

【書類名】 図面

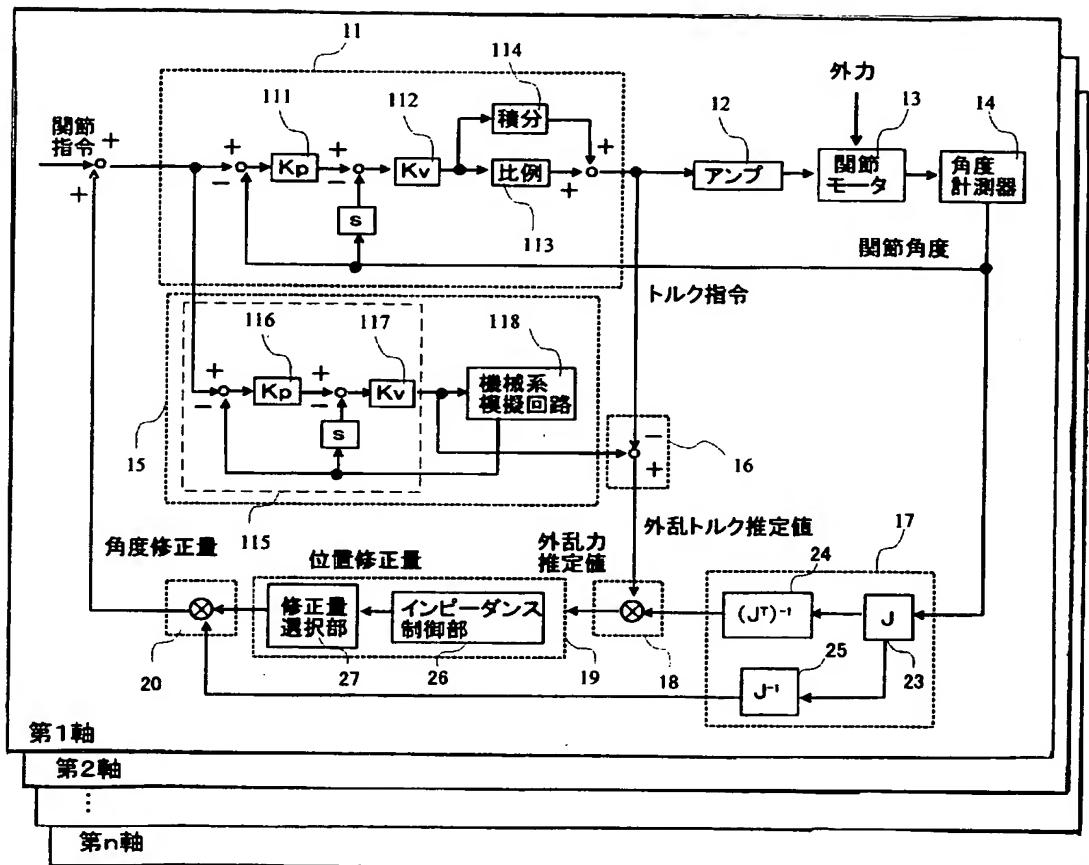
【図 1】



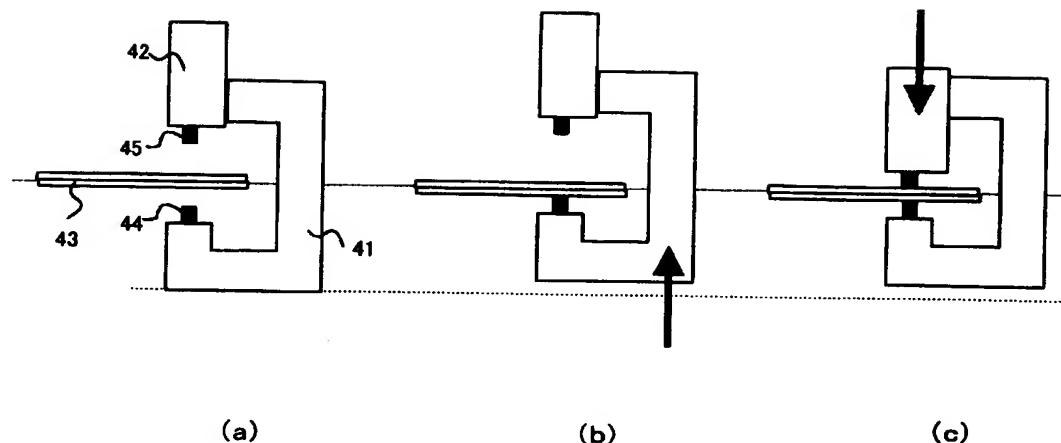
【図 2】



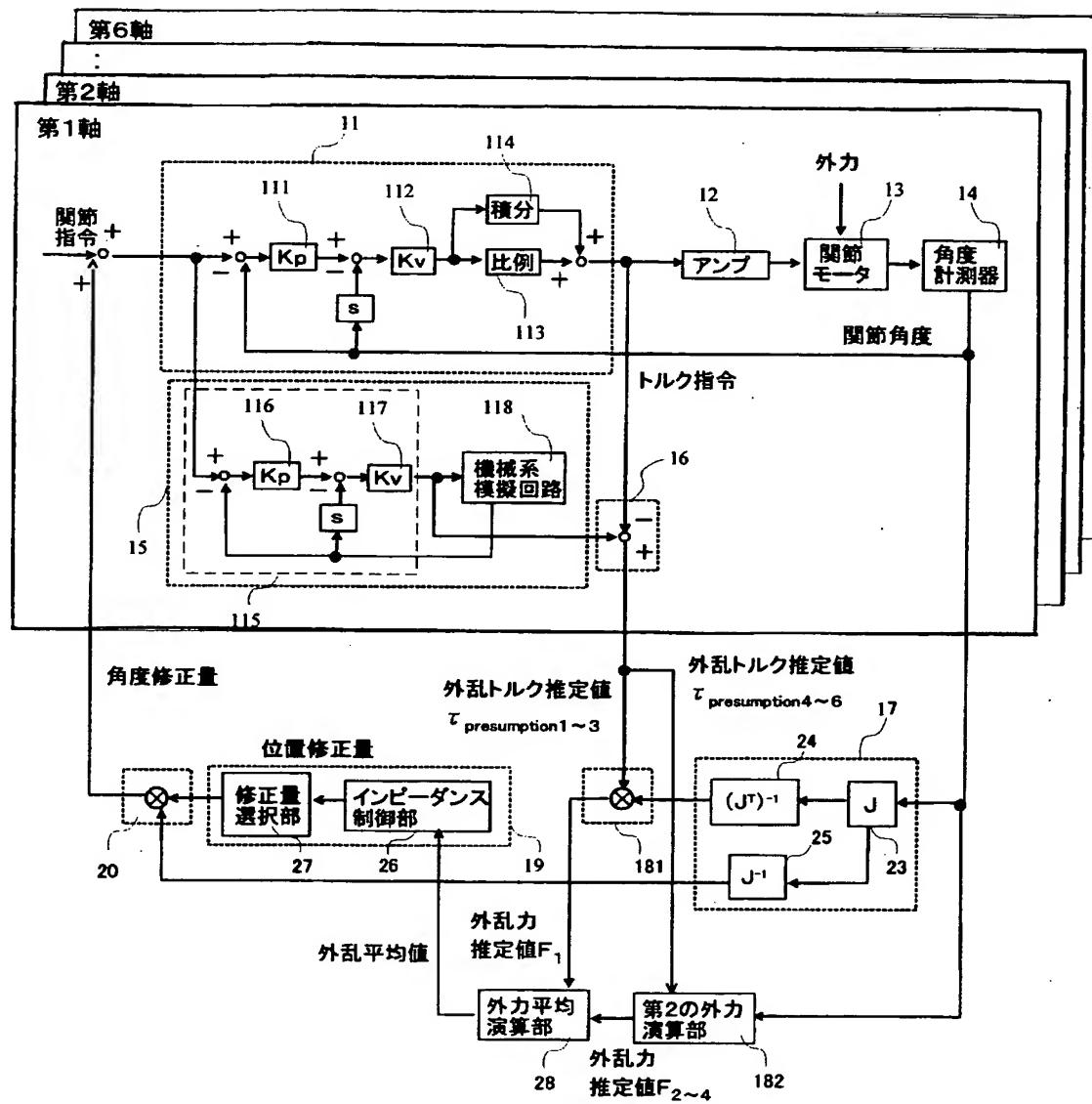
【図 3】



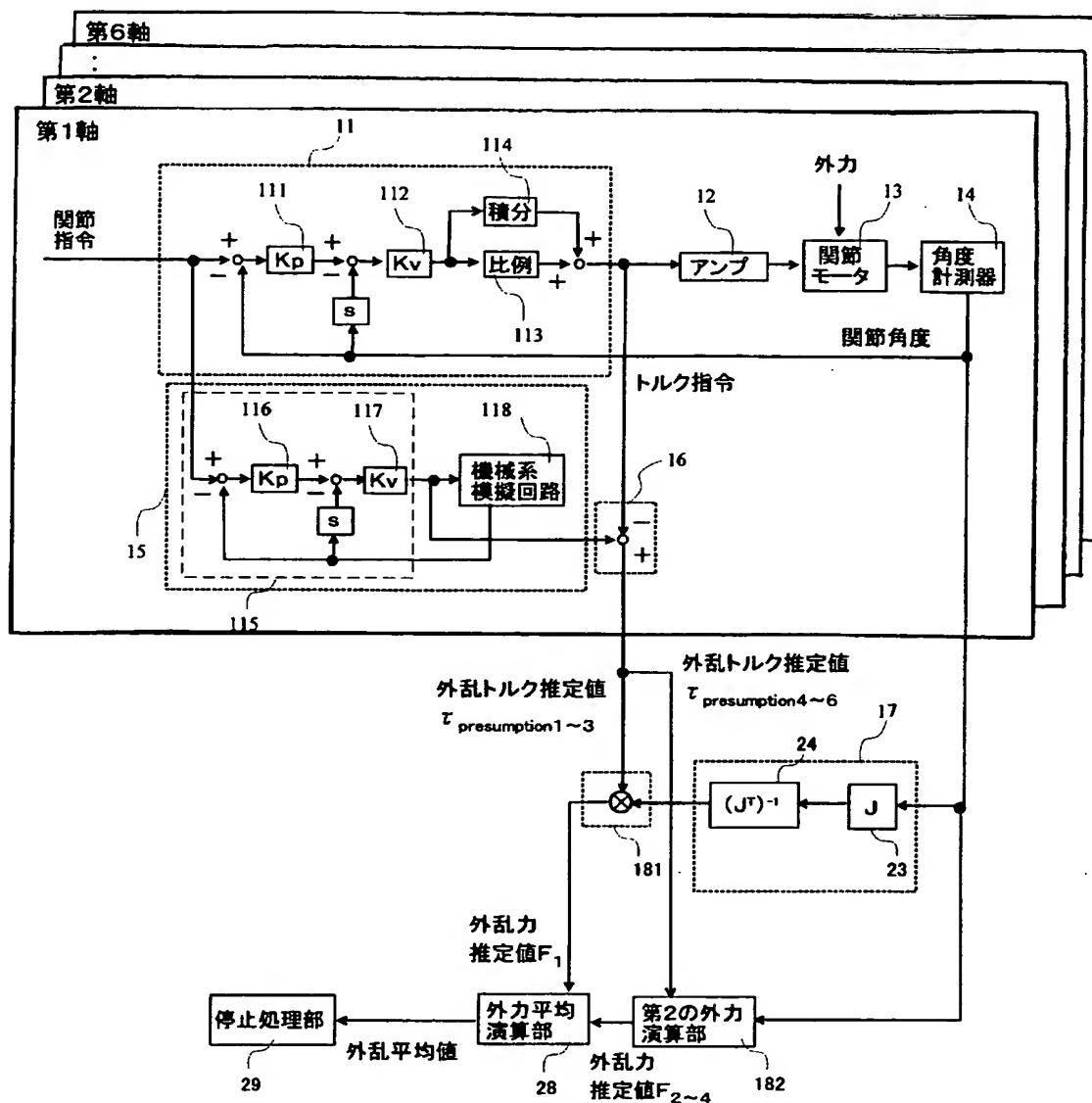
【図4】



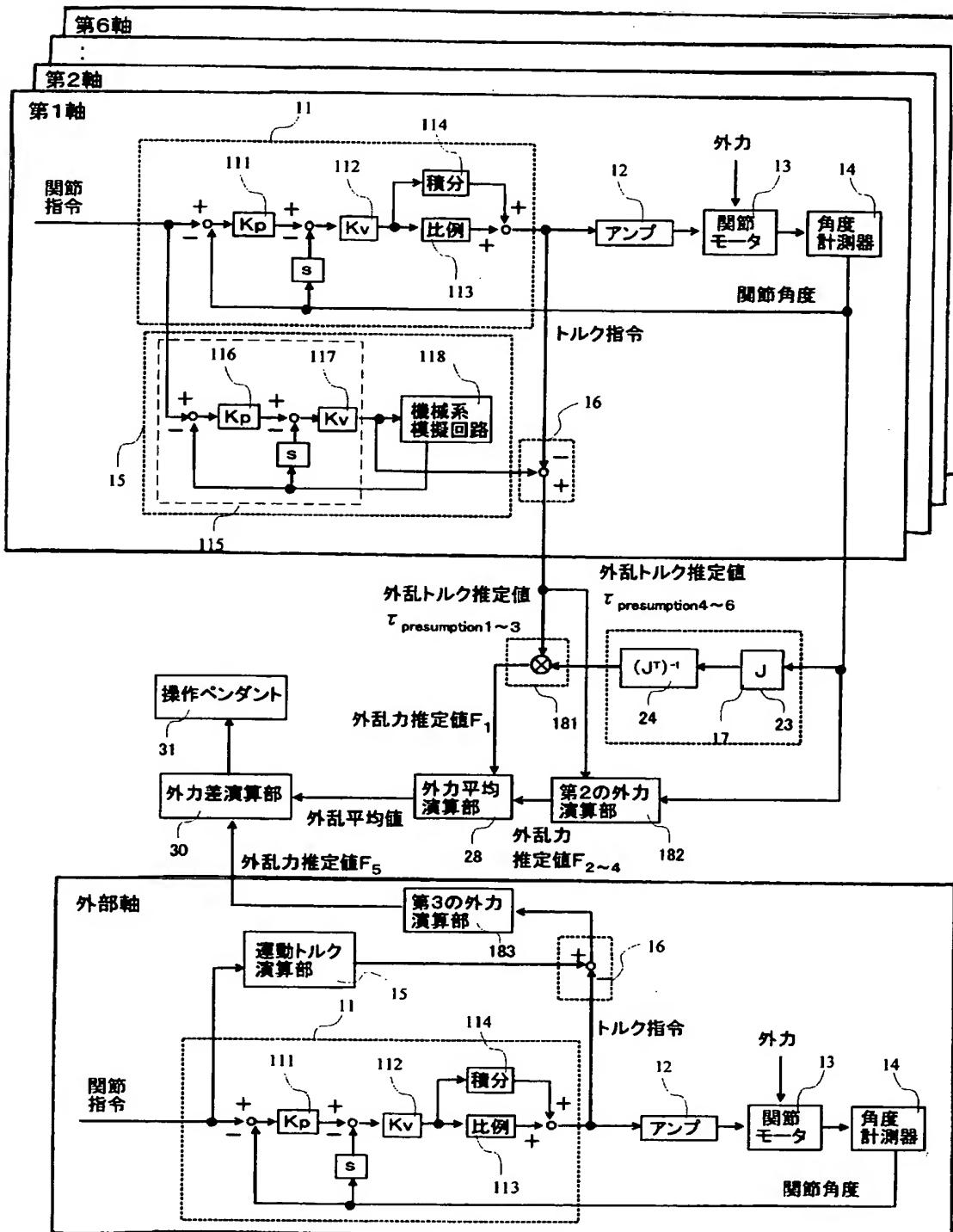
【図5】



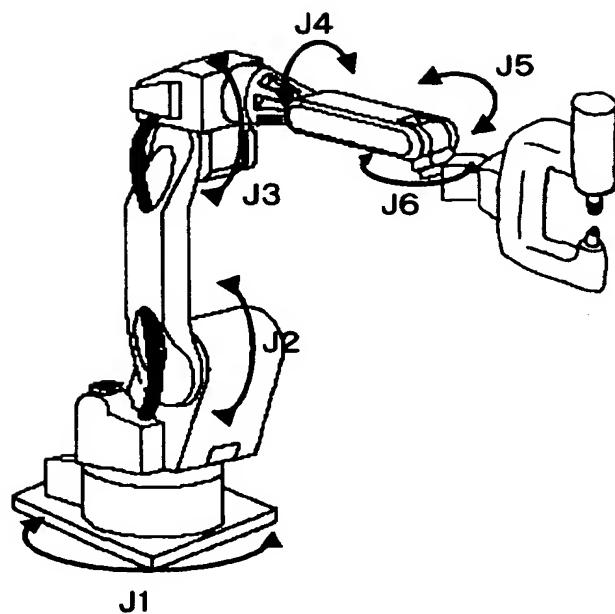
【図 6】



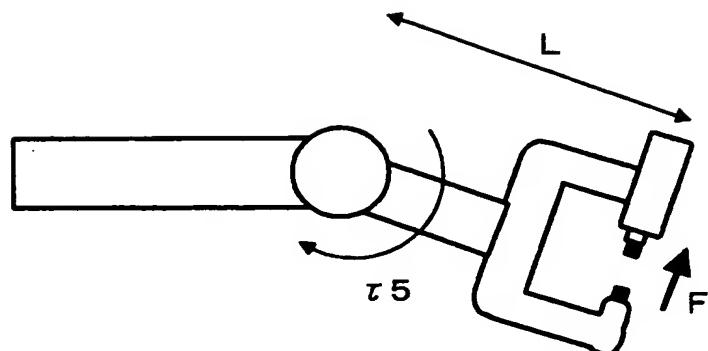
【図7】



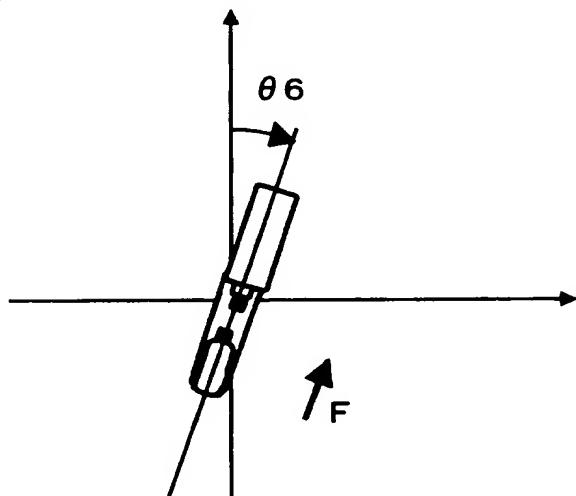
【図8】



【図9】

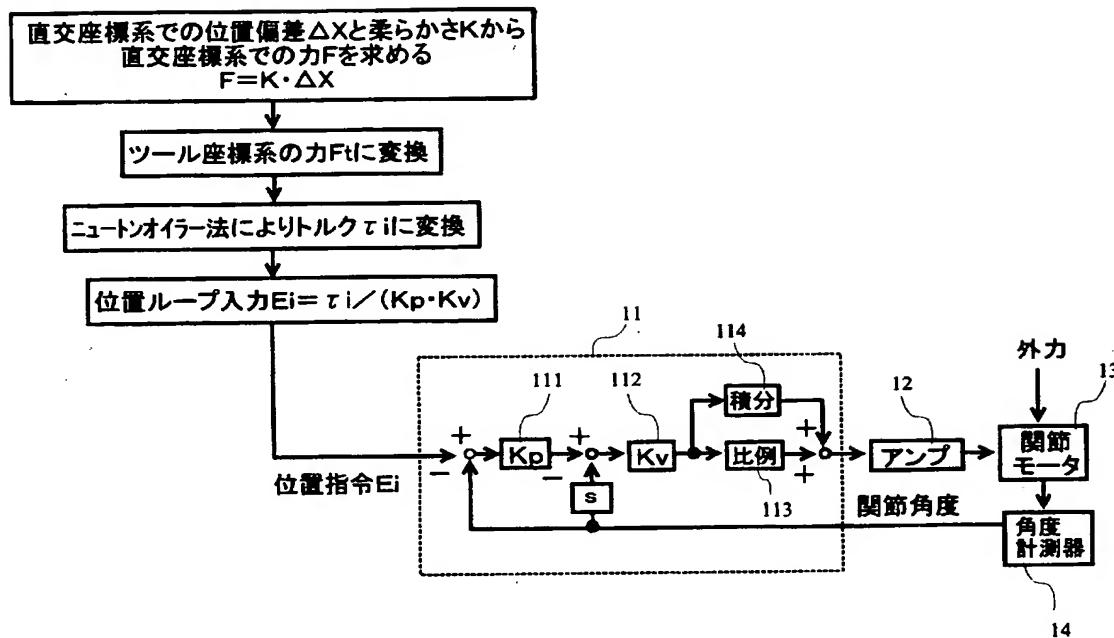


(a)



(b)

【図10】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】センサなどを用いることなく、ストロークの大きな変位にも対応できる作業座標系の力制御を行う装置を提供する。

【解決手段】サーボモータの運動に必要な運動トルク指令を演算する運動トルク演算部と、外乱トルクを演算する外乱トルク推定部と、ロボットの作業座標系とサーボモータの関節座標系との微小変位関係を演算する微小変位関係演算部と、作業座標系での外力に変換する外力演算部と、ロボットの作業座標系での位置修正量を演算する力制御部と、関節座標系での関節角度修正量に変換する関節角度修正量演算部とを備えることを特徴とするロボットの制御装置。

【選択図】図 1

特願2002-360053

出願人履歴情報

識別番号 [000006622]

1. 変更年月日 1990年 8月30日
[変更理由] 新規登録
住 所 福岡県北九州市八幡西区大字藤田2346番地
氏 名 株式会社安川電機製作所

2. 変更年月日 1991年 9月27日
[変更理由] 名称変更
住 所 变更
氏 名 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
株式会社安川電機